饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹生长性能、体组成及消化酶活性的影响

许明珠　张　琴*　董兰芳　谢　达　苏　琼　聂振平　杨家林　童　潼

（广西壮族自治区海洋研究所，广西海洋生物技术重点实验室，北海 536000）

摘　要：本试验以初始体重为(0.042±0.002) g 的拟穴青蟹仔蟹为研究对象，以鱼油和大豆油(1:1)为脂肪源，配制脂肪水平分别为 1.93%、3.95%、6.35%、8.14%、10.54%、12.30%、14.22%（实测值）的 7 种等氮等能试验饲料，养殖期为 3 周，用以研究饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹生长性能、体组成及消化酶活性的影响。每 100 只拟穴青蟹仔蟹为 1 个重复，每 3 个重复饲喂 1 种试验饲料。结果表明：1）饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹的增重率和特定生长率有显著影响(P<0.05)。随着饲料脂肪水平的升高，增重率和特定生长率均呈先增后降的趋势，在饲料脂肪水平为 8.14%时，增重率和特定生长率达到最大值。二次曲线回归分析确定当增重率达到最大值时，饲料脂肪水平为 7.52%。拟穴青蟹仔蟹的成活率在饲料脂肪水平为14.22%的组最低，显著低于其余各组(P<0.05)。2)饲料脂肪水平对全蟹中粗蛋白质和粗脂肪含量有影响显著(P<0.05)。全蟹粗蛋白质含量随着饲料脂肪水平的升高先升后降，在饲料脂肪水平为 8.14%的组全蟹粗蛋白质含量达到最高；全蟹粗脂肪含量则随着饲料脂肪水平的升高而持续上升，在饲料脂肪水平为 14.22%的组全蟹粗脂肪含量达到最高。饲料脂肪水平对全蟹中水分和粗灰分含量没有显著影响(P>0.05)。3)随着饲料脂肪水平的升高，拟穴青蟹仔蟹蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均呈先增后降的趋势，3 种酶活性的最大值均出现在饲料脂

收稿日期：2016-09-06

基金项目：广西科学研究与技术开发计划(桂科合 14125008-2-20，2015DD25040，2015ED27014)，广西自然科学基金项目(2013GXNSFAA019105)，广西科学院基本科研业务费(15YJ22HYS15)

作者简介：许明珠（1988—），女，湖南湘潭人，助理研究员，硕士，从事水产动物营养与饲料的研究。E-mail: xumingzhulian@163.com

*通信作者：张　琴，研究员，硕士生导师，E-mail: zhangqin821220@163.com

肪水平为 8.14%的组。由此得出，以增重率为评价指标，拟穴青蟹仔蟹饲料中最适脂肪水平为 7.52%。

关键词：拟穴青蟹仔蟹；生长性能；体组成；消化酶活性

中图分类号：S963　　　文献标识码：A　　文章编号：

拟穴青蟹（*Scylla paramamosain*）属于肉食性甲壳动物，主要以小型鱼虾贝类为主食，是一种广盐性、广温性的海水蟹类。它具有生长迅速、养殖周期短、经济价值高等优点，并且味道鲜美、可食率高，含有人体所需的全部 8 种必需氨基酸，二十二碳六烯酸（DHA）、二十碳五烯酸（EPA）等不饱和脂肪酸含量也相当丰富，在北部湾地区深受广大养殖户与消费者的喜爱[1]。随着市场需求量的增大，北部湾地区的拟穴青蟹的养殖面积也逐步增多[2]。目前，拟穴青蟹养殖主要以池塘粗放型养殖模式居多，投喂饵料以低值贝类、小杂鱼虾为主，这种养殖模式投入较高，对环境污染较大，不利于大规模推广[3]。因此，研究拟穴青蟹的营养需求，并开发出一种拟穴青蟹经济环保高效人工配合饲料，是促使拟穴青蟹养殖产业逐渐向集约化养殖的关键。

水产饲料中，脂肪主要作为能源物质为养殖动物所利用，提供生长发育的必需脂肪酸，并作为溶剂促进部分脂溶性维生素（如维生素A等）的吸收和运输，同时它还是一些激素和维生素的合成原料[4]。在鱼类饲料中，饲料脂肪的添加是影响饲料质量和鱼类生长的主要因素之一。研究表明，鱼类饲料中通过添加脂肪、淀粉等提供能源的消耗，能有效提高可消化蛋白质的利用率，从而达到节约饲料蛋白质的作用[5]。同时，饲料中适量添加脂肪还能改善饲料适口性，降低饲料系数，从而节约养殖成本[6]。因此，研究饲料脂肪最适水平意义重大。

饲料营养学领域的研究学者对蟹类及其他甲壳类动物的饲料最适脂肪水平做了很多研究，如：中华绒螯蟹（*Eriocheir sinensis*）仔蟹饲料中最适脂肪水平为6.61%~9.96%[7]；三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatu*)饲料中最适脂肪水平为9%[8]；脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)饲料中最适脂肪水平为5%~7%[9]；罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)在9%的

饲料脂肪水平下生长较好[10]。

本文以鱼油和豆油为脂肪源，开展了饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹生长性能、体组成和消化酶活性影响的研究，以期为规模化养殖拟穴青蟹的人工配合饲料的研制提供重要的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

制作饲料之前，分别对各原料进行粗蛋白质、粗脂肪含量以及能值的测定，作为制订和调整饲料配方的依据。本试验以鱼粉、酪蛋白和明胶为蛋白质源，进口鱼油和金龙鱼大豆油（1:1）为脂肪源，糊精及微晶纤维素为配平等能水平的补充能源，配成脂肪水平分别为 0、2%、4%、6%、8%、10%和 12%的 7 种等氮等能试验饲料(表 1)。制成后实际测得 7 种试验饲料的脂肪水平分别为 1.93%、3.95%、6.36%、8.14%、10.54%、12.30%和 14.22%。本试验所有原料粉碎后过 100 目筛网，按照饲料配方中添加量的多少从低至高逐级称重并混合均匀，再与鱼油、大豆油和水充分混匀，微黏合饲料加工参照 Blair 等[11]介绍的方法，将饲料制成过直径为 2 mm 的颗粒饲料，标号装袋于 4 ℃冰箱内保存备用。

表 1 试验饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%						
	1.93	3.95	6.36	8.14	10.54	12.30	14.22
原料 Ingredients							
鱼粉 Fish meal	22.20	22.20	22.20	22.20	22.20	22.20	22.20
酪蛋白 Casein	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
明胶 Gelatin	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60
糊精 Dextrin	40.25	33.75	27.00	20.25	13.50	6.75	
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	1.45	5.95	10.70	15.45	20.20	24.95	29.70
褐藻酸钠 Sodium alginate	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
大豆油 Soybean oil		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
鱼油 Fish oil		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
维生素预混料 Vitamin premix1)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
矿物质预混料 Mineral premix2)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels3)							

粗蛋白质 CP	43.20	43.12	43.01	43.47	43.01	43.13	43.27
粗脂肪 EE	1.93	3.95	6.36	8.24	10.54	12.30	14.22
粗灰分 Ash	4.32	3.94	4.15	4.12	4.10	3.98	3.93
总能 GE/(MJ/kg)	19.42	19.40	19.24	19.15	19.17	19.23	19.25

1)维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets：VD 2 400 IU，VE 100 mg，VK 1 mg，VC 70 mg，VB_1 0.5 mg，VB_2 7 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 1 mg，*D*-泛酸钙 *D*-pantothenic acid 32.6 mg，烟酸 nicotinic acid 28 mg，生物素 biotin 1 mg，叶酸 folic acid 7.5 mg，肌醇 inositol 440 mg。

2)矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets：$FeSO_4·7H_2O$ 760 mg，$CuSO_4·5H_2O$ 12 mg，$ZnSO_4·7H_2O$ 156 mg，$MnSO_4·H_2O$ 41 mg，NaCl 800 mg，$Na_2SeO_3·5H_2O$ 0.9 mg，KI 0.8 mg。

3)实测值 Measured values。

1.2 饲养试验

2015 年 8 月 1 日至 2015 年 8 月 21 日，在广西壮族自治区海洋研究所海水增养殖试验基地进行拟穴青蟹仔蟹饲养试验。试验用拟穴青蟹仔蟹均为同一批受精卵孵化的人工苗种，蟹苗为通体黑褐色、无损伤、活力好、体质强的 I 期仔蟹，规格为(0.042±0.002）g/只，头胸甲宽为(0.41±0.07) cm，头胸甲长为(0.33±0.04) cm。由于拟穴青蟹较凶猛，互相打架残食严重，因此本试验中仔蟹为单独养殖，每 100 只为 1 个重复，每 3 个重复饲喂 1 种试验饲料。养殖容器为直径 20 cm、高 25 cm 的塑料水桶，水桶底部铺一薄层(1~2 cm)的细沙，并在桶底部边缘放置一个面积约为 5 cm^2 的瓦片，以供试验仔蟹栖息。每天投喂 2 次，时间分别为 07:00 和 18:00，以略有剩饵为准，投喂前先吸出剩饵。每 2 d 换 1 次水，每周彻底清理试验水桶 1 次。饲养采用自然光照周期，无充氧，水温维持在 26~30 ℃，盐度维持在 18‰~22‰。

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 生长性能

养殖试验结束后对每个重复的受试拟穴青蟹仔蟹进行计数、称重，然后计算各组的成活率(survival rate,SR)、增重率(weight gain rate,WGR)及特定生长率(specific gain rate,SGR)，计

算公式如下：

SR（%)=100×N_t / N_0；

WGR（%）=100×(W_t-W_0) / W_0；

SGR（%/d)=100×(1nW_t-lnW_0) / t。

式中：W_0为拟穴青蟹仔蟹初始体重；W_t为拟穴青蟹仔蟹终末体重；t为试验天数；N_0为初始拟穴青蟹仔蟹的只数；N_t为终末拟穴青蟹仔蟹的只数。

1.3.2　营养成分含量

采用AOAC(1995)[12]的方法分析测定饲料和全蟹的营养成分含量，具体为：采用105 ℃烘箱中烘干至恒重法测定水分含量，烘干后样品用高速粉碎机粉碎，用于粗蛋白质（凯氏定氮法）、粗脂肪（索氏抽提法）和粗灰分（550 ℃高温灼烧法）含量测定。

1.3.3　消化酶活性

所有待测全蟹样品均置于4 ℃冰箱解冻，分次加入2倍于样品重量的pH=7的磷酸缓冲溶液，然后在玻璃匀浆器（置于冰水混合物中）匀浆，匀浆液于4 ℃、4 000 r/min离心20 min，取上清液进行消化酶活性的测定。蛋白酶活性的测定采用福林-酚法；脂肪酶和淀粉酶活性均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定；酶液中蛋白质含量以牛血清蛋白作标准，用考马斯亮蓝法测定。各消化酶的活性据用比活力(U/mg prot)表示。

1.4　统计分析

采用SPSS 19.0统计软件对所得数据进行单因素方差分析（one-way AVOVA），若差异达到显著性水平，则进行Tukey’s多重比较，显著性水平为P<0.05。数值以“平均值±标准误”表示。

2　结　果

2.1　饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹生长性能的影响

由表2可知，饲料脂肪水平显著影响拟穴青蟹仔蟹的WGR和SGR(P<0.05)。以脂肪水平

为8.14%时为拐点，低于此水平时，随着饲料脂肪水平的升高，WGR和SGR显著升高(P<0.05)；而高于此水平时则相反，WGR和SGR随着饲料脂肪水平的升高表现为显著降低(P<0.05)。拟穴青蟹仔蟹的SR在饲料脂肪水平为14.22%的组最低，显著低于其余各组(P<0.05)，而其余各组之间没有显著差异(P>0.05)。

表2　饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary lipid level on growth performance of juvenile *Scylla Paramamosain*

饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%	初始体重 IBW/mg	终末体重 FBW/mg	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/(%/d)	成活率 SR/%
1.93	0.042±0.001	0.12±0.00^{c}	201.86±2.19^{b}	5.53±0.04^{b}	92.59±0.74^{b}
3.95	0.043±0.002	0.19±0.00^{c}	346.91±2.62^{c}	7.48±0.03^{c}	94.81±1.48^{b}
6.36	0.042±0.002	0.22±0.00^{e}	411.46±8.63^{e}	8.16±0.08^{e}	85.92±3.22^{b}
8.14	0.042±0.003	0.24±0.00^{f}	456.59±4.41^{f}	8.58±0.04^{f}	91.85±1.48^{b}
10.54	0.043±0.002	0.20±0.00^{d}	359.08±7.24^{d}	7.62±0.08^{d}	74.81±9.62^{b}
12.30	0.041±0.001	0.13±0.00^{b}	256.35±5.59^{c}	6.36±0.08^{c}	80.00±4.62^{b}
14.22	0.042±0.001	0.09±0.01^{a}	111.93±2.18^{a}	3.53±0.03^{a}	53.33±5.13^{a}
P 值 *P*-value	0.273	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著（P<0.05)。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

如图1，经回归分析，WGR(Y)与饲料脂肪水平(X)的二次曲线回归方程为：Y=-7.392 8X^2+111.22X+17.438(R^2=0.988 1)。由方程得出，当饲料脂肪水平为7.52%，WGR达到最高值，为435.75%。

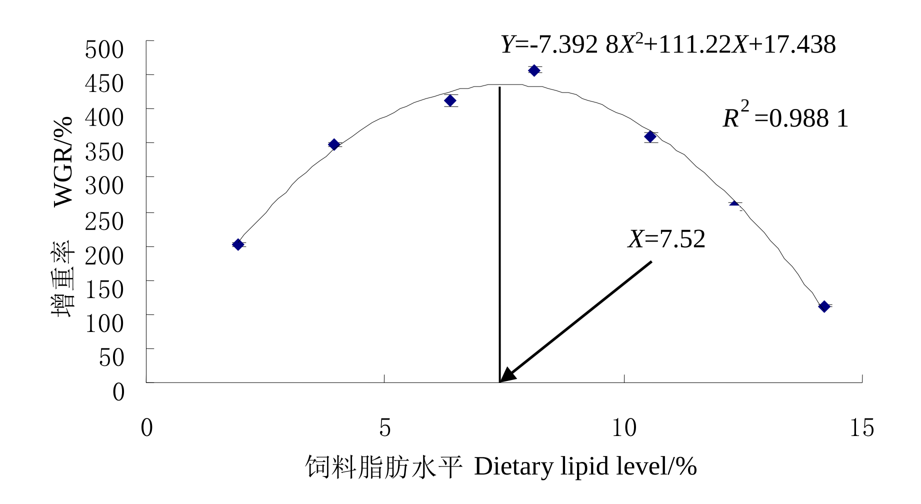


图1 饲料脂肪水平与拟穴青蟹仔蟹WGR的回归分析

Fig.1 Regression analysis between dietary lipid level and WGR of juvenile *Scylla Paramamosain*

2.2 饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹体组成的影响

由表3可知，饲料脂肪水平显著影响全蟹的粗蛋白质、粗脂肪含量($P<0.05$)。饲料脂肪水平为8.14%的组全蟹粗蛋白质含量最高，为36.33%，显著高于其余各组($P<0.05$)；饲料脂肪水平为14.22%的试验组仔青蟹粗蛋白质含量最低，为31.67%，显著低于饲料脂肪水平为6.36%和8.14%的组($P<0.05$)。全蟹粗脂肪含量随着饲料脂肪水平的升高而持续升高，饲料脂肪水平为1.93%的组显著低于其余各组($P<0.05$)，而饲料脂肪水平为12.30%和14.22%的组则显著高于其余各组($P<0.05$)。饲料脂肪水平对全蟹的水分、粗灰分含量没有显著影响($P>0.05$)。

表3 饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹体组成的影响

Table 3 Effects of dietary lipid level on body composition of juvenile *Scylla paramamosain* %

饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%	水分 Moisture	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash
1.93	77.71±0.14	32.00±0.58[ab]	8.40±0.22[a]	44.14±0.88
3.95	77.31±1.40	32.33±0.67[ab]	9.32±0.33[b]	44.80±0.53
6.36	77.72±0.20	34.67±0.67[b]	9.33±0.05[b]	43.76±0.37

8.14	77.35±1.21	36.33±0.67[c]	9.56±0.34[b]	44.10±0.45
10.54	77.61±0.34	33.67±0.33[ab]	9.72±0.09[b]	43.12±0.90
12.30	78.81±0.81	33.33±0.31[ab]	11.02±0.08[c]	43.77±0.86
14.22	77.01±0.65	31.67±0.33[a]	11.07±0.24[c]	43.62±1.61
P 值 *P*-value	0.818	0.001	<0.001	0.903

粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量是在干物质基础上进行测定。CP、EE and ash contents were measured on the basis of DM.

2.3 饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹消化酶活性的影响

由表4可知，饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹的蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶活性均有显著影响($P<0.05$)，三者均在饲料脂肪水平为8.14%时达到最高值。饲料脂肪水平为14.22%的组蛋白酶活性最低，显著低于饲料脂肪水平为8.14%的组($P<0.05$)，其余各组间无显著差异($P>0.05$)。淀粉酶活性同样是在饲料脂肪水平为14.22%的组最低，为0.50 U/mg prot，显著低于其余各组($P<0.05$)；饲料脂肪水平为1.93%和3.95%的组间淀粉酶活性差异不显著($P>0.05$)，二者均显著低于饲料脂肪水平为3.95%~12.30%的组($P<0.05$)。饲料脂肪水平为8.14%和10.54%的组的脂肪酶活性显著高于其他各组($P<0.05$)，且饲料脂肪水平为8.14%的组还显著高于饲料脂肪水平为10.54%的组($P<0.05$)；此外，饲料脂肪水平为1.93%~6.36%的组间及饲料脂肪水平为12.30%~14.22%的组间脂肪酶活性无显著差异($P>0.05$)。

表4　饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹消化酶活性的影响

Table 4　Effects of dietary lipid level on digestive enzyme activities of juvenile *Scylla Paramamosain*

饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%	蛋白酶 Protease/(U/mg prot)	淀粉酶 Amylase/(U/mg prot)	脂肪酶 Lipase/(×10^{-2} U/mg prot)
1.93	2.64±0.26[ab]	0.58±0.01[b]	2.23±0.35[a]
3.95	2.80±0.04[ab]	0.60±0.00[b]	2.67±0.75[a]
6.36	3.07±0.42[ab]	0.63±0.01[c]	2.87±0.37[a]
8.14	4.27±0.71[b]	0.91±0.01[e]	10.29±0.36[c]
10.54	2.57±0.17[ab]	0.69±0.01[d]	4.61±0.26[b]
12.30	2.81±0.47[ab]	0.63±0.01[c]	2.80±0.20[a]

14.22	1.42±0.28[a]	0.50±0.00[a]	1.91±0.10[a]
P 值 *P*-value	0.009	<0.001	<0.001

3 讨 论

3.1 饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹生长性能的影响

脂肪是水产动物生长过程中所需能量和必需脂肪酸的重要来源。在三大营养素中，脂肪所含能量最高，在饲料中加入适当的脂肪作为能源物质，能有效提高蛋白质效率，达到节约蛋白质的作用，进而节约饲料成本，提高养殖效率[5-6]。饲料中的脂肪不仅是某些脂溶性营养素（维生素 A、维生素 K、胡萝卜素等）的溶剂，能有效促进这些营养素的消化吸收外，同时还可为水产动物提供类脂，如磷脂、胆固醇等，这些类脂是构建细胞膜的基本原料，能满足各种组织器官的修补和新生组织的合成[13]。此外，在水产动物饲料中添加适量的脂肪还能改善饲料的适口性，提高增重率和饲料转化率，降低养殖过程中对水体的污染[6]。因此，在饲料配方和饲料营养的研究中，对适宜脂肪水平的研究越来越受到重视。

不同甲壳动物对饲料中脂肪的利用能力有较大区别，其饲料最适脂肪水平各不相同。本研究中采用二元回归方法分析饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹 WGR 的影响，得出拟穴青蟹仔蟹饲料适宜脂肪水平为 7.52%。其他学者的研究得出，饲料脂肪水平为 6.61%~9.96%时可满足中华绒螯蟹仔蟹的生长[7]，三疣梭子蟹饲料中最适脂肪水平为 9%[8]，脊尾白虾饲料中最适脂肪水平为 5%~7%[9]等。

前人对甲壳动物的研究中，王猛强等[14]对凡纳滨对虾（*Litopenaeus vannamei*）的研究发现，随着饲料脂肪水平的升高，凡纳滨对虾幼虾和大规格虾的 WGR、SGR、蛋白质效率均呈先增后降的趋势，饲料转化率呈先降后升的趋势，幼虾阶段和大规格虾阶段饲料中最适脂肪水平分别为 4.83%~5.98%和 5.57%~7.86%。孙龙生等[15]在对罗氏沼虾的研究中指出，饲料脂肪水平的变化对其 WGR 有显著影响，随着饲料脂肪水平（6%~12%）的升高，WGR 呈先增后降的趋势，综合生长发育及饲料利用率，罗氏沼虾饲料中适宜脂肪水平为 9%。段

青源等[8]在三疣梭子蟹的研究中发现，当饲料蛋白质水平为40%时，三疣梭子蟹的WGR随着饲料脂肪水平的升高呈先增后降的趋势，三疣梭子蟹饲料中最适脂肪水平为9%。在本研究中，拟穴青蟹仔蟹的WGR和SGR在饲料脂肪水平为8.14%的组达到最高，且显著高于其余各组；当饲料脂肪水平低于8.14%时，拟穴青蟹仔蟹的WGR、SGR随着饲料脂肪水平的升高而上升；超过8.14%之后再升高饲料脂肪水平，拟穴青蟹仔蟹的的WGR、SGR不增反降。这一结果与上述学者在其他甲壳动物的研究中得到的结论相一致。饲料中的脂肪水平过低或过高均不利于拟穴青蟹仔蟹的生长的原因可能为：1）过低的饲料脂肪水平会使得饲料提供的能量、必需脂肪酸以及脂溶性维生素不足以满足拟穴青蟹仔蟹生长的需要，导致生长发育受阻[13]；2）当饲料脂肪供给量不足以满足能量需求时，会使得饲料中部分蛋白质被当作能源消耗，从而导致拟穴青蟹仔蟹的蛋白质需求也得不到满足[9]；3)高脂肪水平饲料虽然在一定程度上可以起到节约蛋白质的作用，但是一味的提高饲料中的脂肪水平，会引起甲壳类动物肌肉组织中脂肪过量沉积，从而影响产品外观和品质，这种现象已在克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)[16]、日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)[17]等中得到证实；4）饲料脂肪水平过高时会导致饲料适口性降低，并且高饲料脂肪水平还可能引起饲料氧化变质，使得饲料适口性进一步下降，从而导致拟穴青蟹仔蟹生长减缓[9]。

饲料脂肪水平在1.93%~12.30%时，饲料脂肪水平变化对拟穴青蟹仔蟹的SR无显著影响，这与其他学者在凡纳滨对虾[14]、克氏螯虾[16]、日本沼虾[17]、日本对虾(*Penaeus japonicus*)[18]等上的研究结果一致。本试验养殖过程中，在投喂量相同的情况下，饲料脂肪水平为14.22%的组饲料剩余量较多，可能是高脂肪水平导致饲料适口性降低，使得拟穴青蟹仔蟹摄食率下降，无法满足生长发育，从而导致此组SR显著低于其余各组。

3.2 饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹体组成的影响

斯烈钢等[17]对日本沼虾的研究中发现，改变饲料脂肪水平对全虾中粗脂肪和干物质含量、肌肉中粗脂肪含量以及肝胰脏中干物质含量有显著影响。徐维娜等[16]对克氏螯虾的研

究发现，饲料脂肪水平对全虾中粗脂肪、粗蛋白质、干物质和粗灰分含量均有显著影响；在肌肉中，饲料脂肪水平仅对粗脂肪含量有显著影响；在肝胰脏中，饲料脂肪水平对干物质和粗脂肪含量有显著影响。王猛强等[14]在凡纳滨对虾的研究中发现，随着饲料脂肪水平的上升，肌肉中粗蛋白质含量先升后降，肌肉中粗蛋白质含量在饲料脂肪水平为10.13%的组最高；饲料脂肪水平对凡纳滨对虾幼虾全虾和大规格虾肌肉中水分、灰粗分含量无显著影响。

本试验中，饲料脂肪水平在 1.93%～14.22%范围内变化对拟穴青蟹仔蟹全蟹中粗蛋白质、粗脂肪的含量有显著影响，对水分、粗灰分的含量无显著影响。在饲料脂肪水平为1.93%~8.14%时，升高饲料脂肪水平，全蟹粗蛋白质含量随之升高，造成这种现象的可能原因为：饲料中的脂肪具有节约蛋白质的作用，随着饲料脂肪水平的上升，饲料中的脂肪足够满足拟穴青蟹仔蟹的能量需求，使得饲料中蛋白质的利用率升高，进而促进生长。而在饲料脂肪水平为 8.14%~14.22%时，高饲料脂肪水平使得全蟹中粗蛋白质含量有所下降，究其原因可能为：高脂肪水平饲料的能量较高，摄入高能食物会给予中枢神经反馈增强饱腹感，从而减少摄食，进而使得蛋白质和其他营养物质摄入减少，影响生长[19-20]。

3.3　饲料脂肪水平对拟穴青蟹仔蟹消化酶活性的影响

研究证明，甲壳动物的消化酶活性取决于其消化吸收的生理特点和所摄食的饵料，其消化酶活性的高低能反映出对摄食饲料营养元素的适应性和消化吸收能力，进而决定了其生长发育的快慢[21]。饲料成分对水产动物消化酶活性影响的研究有很多，一般规律为饲料中某种成分增加，消化该成分的相应的消化酶活性增加，并且其他种类的消化酶活性也会发生相应变化[22]。本研究中拟穴青蟹仔蟹的3种消化酶活性均较低，其中蛋白酶活性在1.42~4.27 U/mg prot，淀粉酶活性在0.50~0.91 U/mg prot，脂肪酶活性在（1.91~10.29）×10^{-2} U/mg prot，与其他学者测定的三疣梭子蟹[23]、中华绒螯蟹[24]、锯缘青蟹[25]的消化酶活性结果类似。

饲料脂肪水平对不同甲壳动物消化酶活性的影响具有复杂性和多样性。在对克氏螯虾的研究中，饲料脂肪水平对其肠道和肝胰脏的脂肪酶活性具有显著影响，当脂肪水平为 10%

时，2 种组织中脂肪酶活性均显著提高；但是，提高饲料脂肪水平并不会对其肠道和肝胰脏的淀粉酶活性造成显著影响[16]。而在日本沼虾的研究中，饲料脂肪水平对其肝胰脏的蛋白酶和脂肪酶活性都有显著影响，当饲料脂肪水平从 5%提高至 11%时，肝胰脏中蛋白酶和脂肪酶活性显著提高[17]。本研究的试验结果与上述研究结果基本一致，饲料脂肪水平的变化对拟穴青蟹仔蟹的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均有显著影响，3 种消化酶活性的变化规律均为先增后降。酶是一种具有催化作用的蛋白质，当饲料脂肪水平上升时，饲料中的脂肪足以提供能量，使得蛋白质的利用率升高，从而适应性分泌合成的酶可能也增多[26]。同时，因为投喂饲料的营养成分不同，机体摄入的营养素的量随之不同，机体要适应饲料性质，从而加强对营养物质的吸收和物质之间的转化，提高营养素的吸收利用[16]。但是一味的升高饲料脂肪水平可能会抑制脂肪酶活性[27-28]。此外，高脂肪水平饲料所含总能较高，蛋白质和碳水化合物不需要作为能源物质，其消化酶分泌可能随之适应性降低，并且脂肪氧化后具有一定毒性，也可能进一步降低蛋白质和碳水化合物的利用率[22]。

4 结 论

饲料脂肪水平过高或过低均会影响拟穴青蟹仔蟹的生长。以 WGR 为评价指标，通过二元回归分析得出拟穴青蟹仔蟹饲料中最适脂肪水平为 7.52%。

参考文献：

[1] 檀东飞,吴国欣,林跃鑫,等.锯缘青蟹营养成分分析[J].福建师范大学学报:自然科学版,2000,16(4):79–84.

[2] 陈福才.锯缘青蟹的无公害养殖技术[J].广西科学院学报,2012,28(2):120–121,130.

[3] 韩耀龙.拟穴青蟹健康养殖模式研究[D].硕士学位论文.汕头:汕头大学,2011:7–10.

[4] ZHOU Q C,ZHOU J B,CHI S Y,et al.Effect of dietary lipid level on growth performance,feed utilization and digestive enzyme of juvenile ivory shell,*Babylonia areolate*[J].Aquaculture,2007,272(1/2/3/4):535–540.

[5] 陈水春.饲料脂肪及不同脂肪源对鱼类的影响[J].现代渔业信息,2008,23(10):7–11.
[6] 韩春燕,郑清梅,黄勋和.饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼生长发育、饲料利用及血液指标的影响[J].中国饲料,2013(8):36–39.
[7] 汪留全,胡王,李海洋,等.饲料中脂肪水平对幼蟹生长和饲料利用率的影响[J].上海水产大学学报,2003,12(1):19–23.
[8] 段青源,麦康森,申屠基康,等.不同蛋白质、脂肪水平对三疣梭子蟹生长和卵巢色素沉积的影响[J].中国水产科学,2011,18(4):809–818.
[9] 索帅,李健,李吉涛,等.蛋白质和脂肪水平对脊尾白虾生长、非特异性免疫力及抗病力的影响[J].中国渔业质量与标准,2015,5(4):40–47.
[10] 孙龙生,王恒,魏凯,等.日粮不同脂肪水平对罗氏沼虾生长及体组织组成的影响[J].饲料工业,2012,33(16):28–32.
[11] BLAIR T,CASTELL J,NEIL S,et al.Evaluation of microdiets versus live feeds on growth,survival and fatty acid composition of larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus*)[J].Aquaculture,2003,225(1/2/3/4):451–461.
[12] AOAC.Official methods of analysis association of official analytical chemists[S].16th ed.Arlington,VA:Association of Official Analytical Chemists International,1995.
[13] 李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,1996:36–46.
[14] 王猛强,郑昌区,金敏,等.粗脂肪水平对2种规格凡纳滨对虾生长性能、饲料利用和非特异性免疫的影响[J].动物营养学报,2014,26(9):2687–2697.
[15] 孙龙生,王恒.油脂添加水平对罗氏沼虾生长性能、血液生化指标及体组织脂肪酸组成的影响[J].重庆水产,2010(3):9–16.
[16] 徐维娜,刘文斌,沈美芳,等.饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J].海洋与湖沼,2011,42(4):521–529.

[17] 斯烈钢,邹李昶,申屠基康,等.饲料添加不同脂肪及蛋白质水平对日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)生长性能、体成分及消化酶活力的影响[J].海洋与湖沼,2014,45(2):400–408.

[18] 手岛新一,金泽昭夫.配合饵料中蛋白质、脂肪和碳水化合物含量对对虾幼体生长和成活率的影响[J].水产科学,1986,5(3):48–51.

[19] 黄文瑾,周铭月,牛晶晶,等.食物的摄入和能量的平衡[J].辽宁中医药大学学报,2014,16(10):79–84.

[20] 宋青春,齐遵利.水产动物营养与配合饲料学[M].北京:中国农业大学出版社,2010:57–59.

[21] 杨志刚,阙有清,纪连元,等.以配合饲料替代杂鱼对中华绒螯蟹生长及消化酶活性的影响[J].大连海洋大学学报,2013,28(3):293–297.

[22] GANGADHARA B N,EESHA M C,VARGHESE T J,et al.Effect of varying protein and lipid levels on the growth of rohu,*Labeo rohita*[J].Asian Fisheries Society,1997,10(2):139–147.

[23] 丁雪燕,何中央,邱晓力,等.三疣梭子蟹不同生长阶段消化酶活性及配合饲料对其影响的研究[J].动物营养学报,2010,22(2):492–497.

[24] 孙金辉,孙敬锋,孙学亮,等.不同蛋白质含量饲料对中华绒螯蟹生长性能和消化酶活性的影响[J].中国饲料,2012(23):25–27.

[25] 汤鸿,李少菁,王桂忠,等.锯缘青蟹幼体消化酶活力[J].厦门大学学报:自然科学版,1995,34(1):88–93.

[26] 唐黎,王吉桥,程骏驰,等.水产动物消化酶的研究[J].饲料工业,2007,28(2):28–31.

[27] 韩光明,王爱民,徐跑,等.饲料中脂肪水平对吉富罗非鱼幼鱼成活率、肌肉成分及消化酶活性的影响[J].上海海洋大学学报,2010,19(4):469–474.

[28] 向枭,周兴华,陈建,等.饲料中脂肪含量对翘嘴红鲌幼鱼消化酶活性的影响[J].北京水产,2008(5):35–38.

Effects of Dietary Lipid Level on Growth Performance, Body Composition and Digestive Enzyme Activities of Juvenile *Scylla paramamosain*[1]

XU Mingzhu ZHANG Qin* DONG Lanfang XIE Da SU Qiong NIE Zhenping YANG Jialin TONG Tong

(*Key Laboratory of Marine Biotechnology of Guangxi, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai* 536000, *China*)

Abstract: Juvenile *Scylla paramamosain* with the average body weight of (0.042±0.002) g were fed seven isonitrogenous and isoenergetic experimental diets with different lipid levels for 3 weeks to investigate the effects of dietary lipid level on growth performance, body composition and digestive enzyme activities of juvenile *Scylla paramamosain*. Using fish oil and soybean oil (1:1) as the lipid source, the lipid level in the seven experimental diets was 1.93%, 3.95%, 6.35%, 8.14%, 10.54%, 12.30% and 14.22% (measured values), respectively. Each experimental diet had three replicates and each replicate had 100 juvenile *Scylla paramamosain*. The results showed as follows: dietary lipid level significantly affected the weight growth ratio (WGR) and specific growth ratio (SGR) of juvenile Scylla *paramamosain* (P<0.05). With the increase of dietary lipid level, the WGR and SGR of juvenile *Scylla paramamosain* were firstly increased and then decreased, and when the dietary lipid level was 8.14%, both WGR and SGR produced the maximum value. The quadratic curvilinear regression analysis showed the best dietary lipid level was 7.52% which could acquire the best WGR. The survival rate（SR）in the group with 14.22% dietary lipid level was the lowest, which was significantly lower than that in other groups (P<0.05). 2) Dietary lipid level had significant effects on body crude protein and ether extract contents in whole crab (P<0.05). The crude protein content in whole crab was firstly increased and then decreased, and when the dietary lipid level was 8.14%, it produced the maximum value. The ether extract contents in whole crab with the increase of dietary lipid level continued to increase, when dietary lipid level was 14.22%, it produced the maximum value. Dietary lipid level had no significant effects on the contents of moisture and ash in whole crab (P>0.05). 3) With the increase of dietary lipid level, the activities of protease, lipase and amylase of juvenile *Scylla paramamosain* were firstly increased and then decreased, and all of them produced the maximum value when the juvenile *Scylla paramamosain* fed with diet contained 8.14% lipid. In conclusion, taking WGR as evaluation index, the suitable dietary lipid level for juvenile *Scylla paramamosain* should be 7.52%.

Key words: *juvenile Scylla paramamosain*; growth performance; body composition; digestive enzyme activities

*Corresponding author, professor, E-mail: zhangqin821220@163.com (责任编辑 菅景颖)